

## ANALISIS EFISIENSI ENERGI *FLOW* BATERAI *LEAD ACID* KEADAAN STATIS DAN DINAMIS

Muhammad Ghufron<sup>1</sup>, Istiroyah<sup>1</sup>, Cholisina Anik Perwita<sup>1</sup>, Kurriawan Budi Pranata<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Malang, 65154

<sup>2</sup>Staf Pengajar Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Kanjuruhan Malang, Jl. Sudancho Supriyadi 48, Malang, 65148

Email: \*mghufron@ub.ac.id

### ABSTRACT

*Charging-discharging research was conducted on Redox Flow battery (RFB) using Pb as cathode, PbO as anode, and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution as electrolyte. The research was done by using static and dynamic method. The experimental shows that RFB was successfully created and show secondary battery characteristic (charge and discharge graph). According to the charge-discharge characteristic for 5 cycles RFB, shows that the RFB capacity is 1800 mAh when RFB on the static mode while RFB in dynamic mode, the capacity is 2900 mAh. Based on the graph, it was found that the energy efficiency of RFB in the static mode is 50,1% and 71,1% for dynamic mode.*

**Keywords:** Charging, discharging, RFB, Energy efficiency

### PENDAHULUAN

Kebutuhan masyarakat akan energi listrik terus mendorong manusia menciptakan alat yang mampu menyimpan energi listrik lebih baik. *Redox Flow Battery* (RFB) merupakan suatu baterai berjenis baterai sekunder yang memiliki kemampuan untuk bisa diisi ulang [1]. RFB memiliki beberapa kelebihan seperti masa pakai yang panjang, memiliki kapasitansi yang besar dan efisiensi yang baik [2]. RFB terbagi menjadi dua jenis yakni RFB dua elektrolit contohnya baterai berbasis Vanadium [3], dan RFB elektrolit tunggal seperti baterai berbasis Pb [4] dan Zn [5]. Prinsip kerja dari baterai aliran redoks ini adalah dengan digunakan reaksi reduksi dan oksidasi elektrokimia yang terjadi pada dua cairan elektrolit, baterai aliran redoks cukup bergantung dengan jenis larutan kimia yang digunakan, dimana ion bermigrasi dari satu elektroda ke elektroda lainnya (dari anoda menuju katoda) [6].

Baterai asam timbal (Pb) merupakan jenis baterai yang paling banyak digunakan oleh masyarakat selain baterai Lithium Polimer (LiPo). Adapun kekurangan baterai jenis ini adalah adanya peristiwa pengendapan timbal yang terjadi pada elektroda yang mampu mengurangi efisiensi energinya yang mana lambat laun akan mengurangi masa hidup (*life time*) baterai. Salah satu solusinya adalah dengan mengganti elektroda yang ada namun hal ini tentu akan berpengaruh pada biaya yang tidak sedikit. Kapasitas baterai ternyata bisa ditingkatkan dengan menambah volume maupun konsentrasi elektrolit di dalam sistem baterai dan memungkinkan untuk

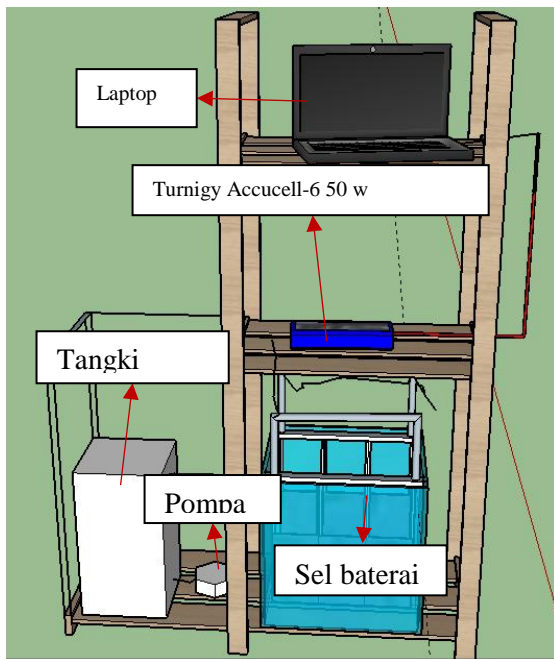
menambah volume elektrolit di luar elektroda dengan cara mengalirkannya menggunakan pompa. [7], oleh karena itu sangat memungkinkan bila melakukan modifikasi baterai asam timbal konvensional menjadi RFB Asam Timbal elektrolit tunggal.

Pada penelitian kali ini akan dibahas tentang karakteristik pengisian-pengosongan (*charge-discharge*) baterai dinamis asam timbal elektrolit tunggal kemudian analisis tentang kapasitas dan efisiensi baterai dengan membandingkannya pada keadaan elektrolit diam (statis) dan elektrolit bergerak (dinamis).

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi 2 tahap yakni pembuatan rancang bangun sistem baterai dan pengujian analisis *charging* dan *discharging*. Sistem ini terdiri dari tiga bagian yakni bagian pertama adalah baterai dinamis asam timbal (*chamber* dan pompa), alat *charge-discharge realtime* dan laptop untuk monitoring dan menyimpan data. Rancang bangun baterai dinamis dibuat dengan bahan akrilik kemudian dihubungkan dengan pompa mekanik agar baterai bisa bekerja dengan baik saat keadaan statis maupun dinamis dengan menggunakan pompa tegangan kecil. Baterai terdiri dari 4 buah pelat elektroda Pb dan 4 buah elektroda PbO dengan ukuran pelat masing-masing 7,5 cm x 4,5 cm. Baterai sebanyak 3 sel disusun secara seri dan paralel kemudian dilakukan pengujian pengisian dan pengosongan dengan arus konstan 0,5 A. Dilakukan juga proses pengisian dan pengosongan

untuk aki dipasaran untuk tegangan 6V dan 12 V sebagai pembanding hasil pada penelitian. Hasil uji pengisian dan pengosongan baterai kemudian dianalisis untuk mengetahui karakteristik baterai, kapasitas baterai dan efisiensi energi baterai.



Gambar 1. Rangkaian Baterai Aliran Redoks

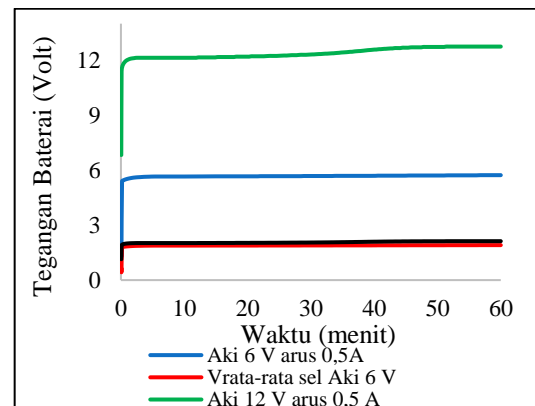
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Pengisian

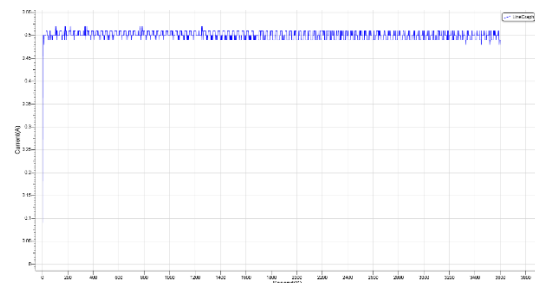
Pengisian baterai sekunder memiliki karakter yang khas dimana tegangan pada baterai meningkat pesat diawal pengisian dan tegangan naik secara lambat setelahnya hingga baterai penuh [8]. Salah satu contoh baterai sekunder adalah aki. Pada bagian ini telah dilakukan uji pengisian pada aki 6 V dan 12 V kemudian akan dibandingkan dengan baterai asam timbal hasil rancang bangun. Gambar 2 menunjukkan uji pengisian aki 6 dan 12 V pada arus konstan 0,5 A dan 1 A. Hasil pengujian menunjukkan baik aki 6V dan 12 V saat *charging* dengan arus konstan 0,5 A (lihat gambar 3) dan 1 A memiliki karakter pengisian yang mirip yakni naik cepat diawal pengisian dan tegangan menjadi naik secara lambat setelahnya (lihat gambar 2 dan gambar 4). Karakteristik grafik yang sama juga dimiliki oleh baterai dinamis asam timbal (elektrolit di alirkan dengan pompa) saat disusun seri maupun paralel yang nampak pada Gambar 5.

Gambar 2 menunjukkan bahwa pada pengisian aki dengan arus konstan 0,5 A, nilai rata-rata tegangan tiap sel pada aki 12 V sebesar 2,06 V, nilai ini lebih tinggi 9,0 % dibandingkan dengan aki 6 V yang hanya memiliki nilai 1,89 V. Hal yang sama juga terjadi untuk pengisian dengan arus konstan 1 A dimana nilai tegangan rata-rata

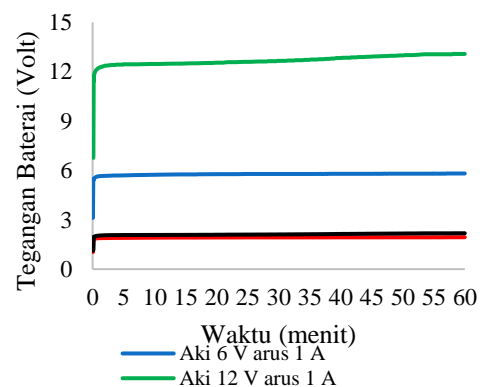
tiap sel untuk aki 12 volt dengan aki 6 volt berturut-turut adalah 2,12 V dan 1,93 V dengan selisih sebesar 9,8%. Lebih tingginya nilai rata-rata tegangan aki 12 V yang memiliki jumlah elektroda lebih banyak mengindikasikan mampu menyimpan muatan (kapasitas baterai) lebih baik dibandingkan aki 6 V. Hal ini juga dikuatkan oleh trend grafik yang masih cenderung naik (warna hijau) bila dibandingkan dengan aki 6V yang terlihat konstan (warna biru) seperti yang terlihat pada gambar 2 dan gambar 4.



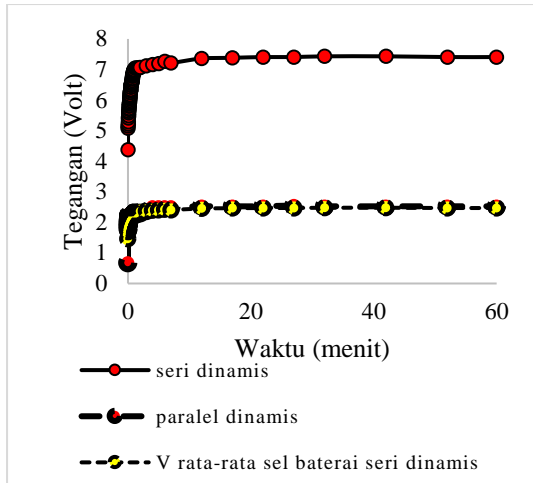
Gambar 2. Uji Pengisian Aki 6 V dan 12 V dengan arus konstan 0,5 A.



Gambar 3. Arus listrik konstan 0,5 A diberikan pada aki saat proses pengisian selama 1 jam.



Gambar 4. Uji Pengisian Aki 6 V dan 12 V dengan arus konstan 0,5 A.



**Gambar 5.** Uji Pengisian Baterai Dinamis Susunan Seri dan Paralel dengan Arus Konstan 0,5 A.

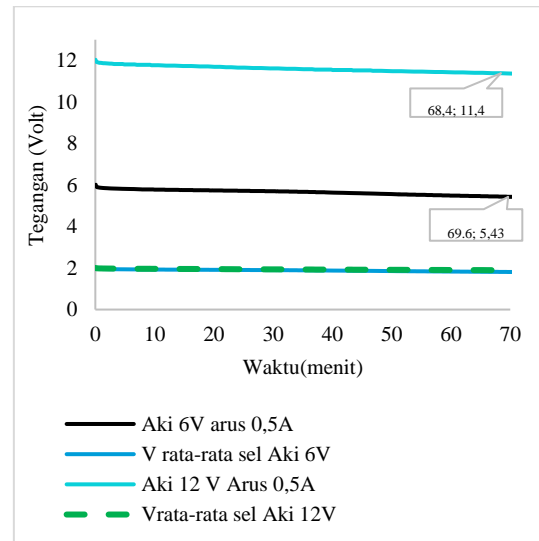
Gambar 5 menunjukkan karakteristik grafik pengisian baterai dinamis asam timbal dengan pengisian arus konstan 0,5 A selama 1 jam. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa baterai dinamis susunan seri tiga sel memiliki nilai tegangan lebih tinggi dengan susunan paralel namun dari nilai tegangan rata-rata tiap sel nampak bahwa susunan paralel memiliki nilai yang lebih tinggi. Tegangan sel baterai pada susunan paralel memiliki nilai rata-rata sebesar 2,43 V dan susunan seri sebesar 2,40 V. Nilai ini berselisih sebesar 1,2%, jauh lebih rendah dibandingkan dengan pada aki 6 V dan 12 V yang bernilai 9,0 % dan 9,8%. Berdasarkan teori dinyatakan bahwa tegangan pada asam timbal bisa mencapai lebih dari 2,4 V sehingga untuk susunan seri ketika dilakukan pengisian selama 1 jam masih memungkinkan untuk terus diisi.

Bila dibandingkan antara aki dan *flow* baterai hasil rancang bangun maka tampak sekali perbedaan yang nyata antara keduanya saat dilakukan pengisian pada arus 0,5A. Tegangan pada *flow* baterai lebih tinggi 0,4 V-0,5 V. Bila merujuk pada energi yang mampu disimpan dimana energi sebanding dengan tegangan maka jelas bahwa *flow* baterai memiliki penyimpanan energi (*energy storage*) yang lebih besar dibandingkan aki pada pengisian 1 jam.

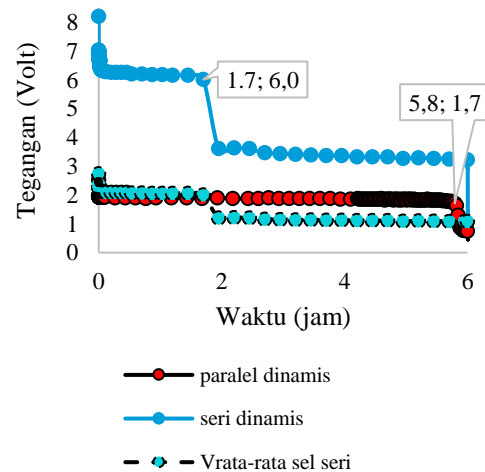
### Uji Pengosongan

Gambar 5 dan gambar 6 menunjukkan karakteristik tegangan aki dan baterai dinamis asam timbal saat peristiwa pengosongan dengan menggunakan arus konstan 0,5 A. Pengosongan pada aki diawal membuat tegangan turun signifikan yang berlangsung cepat (45 detik untuk aki 6V dan 50 detik untuk aki 12 V). Setelah itu tegangan relatif konstan hingga baterai mengalami  $V_{cutoff}$ .  $V_{cutoff}$  merupakan tegangan dimana baterai tidak lagi mampu memberikan arus konstan pada

rangkaian listrik dan di tandai dengan turunnya tegangan secara drastis. Pada aki  $V_{cutoff}$  memiliki nilai sebesar 1,8 V pada masing-masing sel sedangkan pada baterai dinamis memiliki nilai rata-rata tegangan sel dibawahnya yakni sebesar 1,70 V untuk *flow* baterai rangkaian paralel dan 1,50 V untuk baterai dirangkai seri. Pada *flow* baterai susunan seri lebih cepat habis dibandingkan dengan *flow* baterai susunan paralel. Pada susunan seri, baterai dinamis kehilangan tegangannya pada pengosongan setelah 1,7 jam dengan tegangan akhir sebesar 6,012 V.



**Gambar 5.** Uji Pengosongan Aki 6V dan 12 V sampai mencapai tegangan *cutoff*



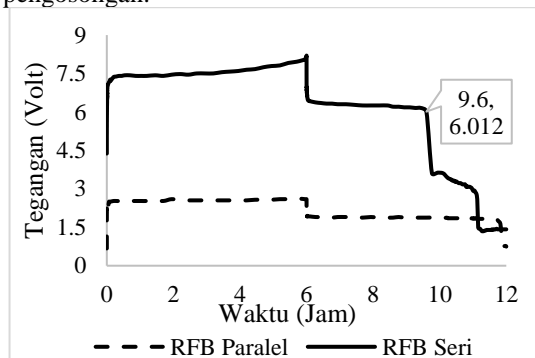
**Gambar 6.** Uji Pengosongan Baterai Dinamis Susunan Seri dan Paralel

Sedangkan pada susunan paralel tegangan turun drastis setelah 5,794 jam dan tegangan akhir 1,73 V.

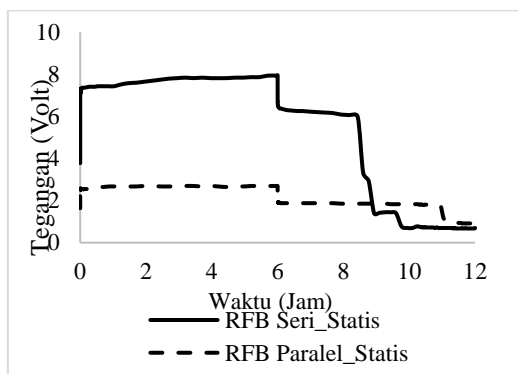
Untuk baterai dengan susunan seri dan paralel sebelum nampak pada grafik bahwa nilai rata-rata tegangan setiap sel pada susunan seri sebesar 2,22 V lebih besar 0,37 V (20%) dibandingkan *flow* baterai paralel yang memiliki tegangan sel 1,85 V. Pada peristiwa pengosongan aki 6V dan 12 V, nilai rata-rata tegangan antara keduanya memiliki kemiripan yang sangat tinggi dengan selisih hanya 0,8% saja. Hal ini menunjukkan bahwa aki yang ada dipasaran memiliki standar yang sama satu dengan yang lain.

### Kapasitas dan Efisiensi Energi

Kapasitas suatu baterai dapat dilihat dari banyaknya muatan yang mampu disimpan oleh baterai tersebut dimana ini diindikasikan secara langsung dari banyaknya muatan yang mampu dilepaskan oleh baterai. Jumlah muatan yang dilucuti ini dapat dilihat dari waktu pengosongan baterai hingga baterai mencapai  $V_{cutoff}$ . Gambar 8 dan gambar 9 merupakan karakteristik pengisian-pengosongan *flow* baterai selama 12 jam baik untuk keadaan statis dan dinamis dari rangkaian sel seri dan paralel. Hal ini dilakukan karena belum diketahui kapasitas total dari *flow* baterai yang dibuat. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa perbedaan nyata antara pengisian dan pengosongan adalah tegangan pengisian yang lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan pengosongan.



Gambar 8. Karakteristik pengisian-pengosongan Redox Flow Battery (RFB) keadaan dinamis.



Gambar 9. Karakteristik pengisian-pengosongan Redox Flow Battery (RFB) keadaan statis.

Kemudian pada keadaan dinamis dapat diketahui bahwa pengosongan terjadi lebih lama bila dibandingkan dengan keadaan statis baik untuk rangkaian seri maupun rangkaian paralel. Baterai dengan susunan paralel memiliki waktu pengosongan lebih lama dibandingkan dengan baterai dengan susunan seri dengan waktu terlama diperoleh pada *flow* baterai susunan paralel dalam keadaan dinamis yakni 5,8 jam. **Tabel 1** menunjukkan hasil perhitungan kapasitas *flow* baterai dimana dapat dilihat bahwa kapasitas baterai keadaan dinamis lebih besar dibandingkan dengan kapasitas baterai statis. Hal ini karena saat keadaan dinamis elektrolit mengalir dari tangki menuju elektroda sehingga jumlah reaksi redoks yang terjadi pada kedua elektroda menjadi lebih banyak. Kapasitas baterai yang paling kecil diperoleh pada susunan paralel keadaan elektrolit diam yakni 1215 mAh.

Efisiensi pada baterai dapat terdiri dari efisiensi muatan (*coulomb*), efisiensi tegangan dan efisiensi energi listrik. Efisiensi pada pembahasan ini merujuk pada efisiensi energi listrik yang merupakan perkalian efisiensi muatan dengan efisiensi tegangan. Efisiensi energi juga bisa diperoleh dari rasio besarnya energi listrik pengosongan dengan energi listrik pengisian dan sesuai dengan persamaan 1.

$$\eta = \frac{(V_{it})_{discharge}}{(V_{it})_{charge}} \dots \dots \dots (1)$$

**Tabel 1.** Kapasitas *flow* baterai susunan seri dan paralel dalam keadaan statis dan dinamis.

	Seri Statis	Seri Dinamis	Paralel Statis	Paralel Dinamis
$V_c$ (Volt)	7,84	7,503	2,693	2,549
$V_d$ (Volt)	6,204	6,253	1,852	1,876
$I$ (mA)	500	500	500	500
$t_c$ (jam)	6	6	6	6
$t_d$ (jam)	2,43	3,6	4,96	5,8
Kapasitas (mAh)	1215	1800	2480	2900
$\eta$ (%)	32,05	50,00	56,85	71,14

Berdasarkan analisa grafik pengisian-pengosongan dapat diperoleh data seperti pada tabel 1.  $V_c$  merupakan tegangan median saat dilakukan pengisian baterai (*charging*) dan  $V_d$  merupakan tegangan median saat dilakukan pengosongan (*discharging*) sampai mencapai *cutoff*. Sedangkan  $t_c$  dan  $t_d$  berturut-turut adalah waktu saat pengisian dan pengosongan baterai hingga *cutoff*. Analisis menggunakan persamaan 1 diperoleh efisiensi energi *flow* baterai dalam

keadaan dinamis lebih besar dibandingkan dalam keadaan statis. Nilai efisiensi terbesar diperoleh pada RFB dengan susunan paralel dalam keadaan elektrolit mengalir sebesar 70,14 %. Sedangkan pada keadaan seri elektrolit diam diperoleh efisiensi energi yang tercekil sebesar 32 %. Nilai efisiensi ini dapat berubah bila menggunakan waktu pengisian dan arus listrik yang berbeda [9].

## KESIMPULAN

Rancang bangun *flow* baterai (RFB) berhasil dibuat dengan menggunakan anoda Pb dan katoda PbO serta elektrolit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sebanyak 4 sel. Hasil grafik pengisian dan pengosongan menunjukkan bahwa baterai yang dibuat berjenis baterai sekunder dan mampu diisi selama 6 jam dengan arus konstan 0,5A. Berdasarkan analisis pada grafik pengisian-pengosongan diperoleh bahwa baterai keadaan dinamis memiliki waktu pengosongan yang lebih lama dibandingkan baterai keadaan statis sehingga memiliki kapasistas baterai dan efisiensi baterai yang lebih tinggi. Berdasarkan susunan sel saat eksperimen diperoleh bahwa baterai dengan susunan sel paralel memiliki efisiensi energi dan kapasitas lebih tinggi dibandingkan dengan susunan seri.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Weber, A.Z, Matthew M. Mench, Jeremy P. Meyers, Philip N. Ross, Jeffrey T. Gostick. Qinghua Liu. 2011. *Redox flow batteries: a review*. J Appl Electrochem. 41:1137–1164
- [2] Alotto Piergiorgio, Massimo Guarnieri, Moro Federico. 2014. *Redox flow batteries for the storage of renewable energy: a Review*, 29:325-335
- [3] C. Ponce, A. Frías-Ferrer, J. González-García, D.A. Szánto and F.C. Walsh. 2006. *Redox flow cells for energy conversion*. J.Power Sources, vol. 160, no. 1, pp. 716-732.
- [4] Collins, J., Kear G, Li X, Low CT, Pletcher D, Tangirala R. 2010. A novel flow battery: a lead acid battery based on an electrolyte with soluble lead (II) Part VIII. The cycling of a 10 cm x 10 cm flow cell. J Power Sources.195: 1731–8
- [5] Ghufron, M., Kurriawan B. Pranata. 2017. *Energy Efficiency of Zinc-Carbon Accumulator and Standart Accumulator*. Proceeding on The 7th Annual Basic Science International Conference. 7-8 Maret 2017. Vol 3. Hal 44-47
- [6] Skyllas-Kazacos M, Chakrabarti MH, Hajimolana SA, Mjalli FS, Saleem M. 2011. *Progress in flow battery research and development*. Journal of the Electrochemical Society,158(8):R55–79
- [7] Bates, A., Santanu Mukerjee , Sang C. Lee , Dong-Ha Lee , Sam Park. 2014. *An analytical study of a lead-acid flow battery as an energy storage system*, journal of Power Source 249:207-218
- [8] Leung, P.K. C. Ponce-de-León, C.T.J. Low, A.A. Shah, F.C. Walsh. 2011. *Characterization of a zinc–cerium flow battery*. Journal of Power Sources. 196.5174–5185
- [9] Leung, P.K, C. Ponce de Leon, F.C. Walsh. 2012. The influence of operational parameters on the performance of an undivided zinc–cerium flow battery. Electrochimica Acta. 80. 7– 14